



**CARACTERIZAÇÃO DE RELÂMPAGOS ATRAVÉS DO USP DE CÂMERAS
DE ALTA VELOCIDADE, DE SENSORES DE CORRENTE E CAMPO
ELÉTRICO**

Este projeto de pesquisa foi realizado sob orientação Marcelo Magalhães Fares Saba, tendo como objetivo principal estudar as características dos relâmpagos por meio de sensores de corrente e campo elétrico.

São Paulo
2017

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE

GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA - ELAT

**" CARACTERIZAÇÃO DE RELÂMPAGOS ATRAVÉS DO USP DE CÂMERAS
DE ALTA VELOCIDADE, DE SENSORES DE CORRENTE E CAMPO
ELÉTRICO "**

Relatório Final de Atividades de Pesquisa de Iniciação Científica

Bolsista: Jessé Stenico (No. USP: 9051932)

(email: jesse.stenico@usp.br)

Orientador: Marcelo Magalhães Fares Saba

(Pesquisador Titular III do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)

Período de 10/08/16 a 10/07/2017

Agência Financiadora: CNPq

Março de 2017

RESUMO

Iniciado em 2016, o projeto de pesquisa tem como objetivo estudar diferentes processos físicos dos relâmpagos, bem como as etapas de descargas elétricas e suas características a partir de imagens de vídeos e sensores de campo elétrico e corrente. Para realização destes estudos, o trabalho foi dividido em duas principais etapas: I) campanha de aquisição dos dados no período de novembro/2016 a março/2017 aonde foram utilizados sensores de campo elétrico (*e-fast*), corrente elétrica (*TCs*), raio-x e câmeras de alta velocidade instalados nas cidades de Pirituba/SP e São Paulo/SP e II) processamento, análise, controle de qualidade dos dados, e estudos físicos relacionados à eletricidade atmosférica. Após a conclusão da segunda etapa pode-se observar o comportamento dos LANCs (líderes ascendentes não conectivos) LACs (Líderes ascendentes conectivos) bem como as grandezas físicas relacionadas a esses. A partir da análise dos dados processados, observa-se o registro de correntes da ordem de $5,0 \times 10^4$ A e intensidade do campo elétrico da ordem de $1,0 \times 10^3$ volt.m⁻¹ instantes antes da conexão do raio com o para-raios. Também se podemos observar por meio de registros de imagens os instantes anteriores e de conexão dos LACs nos para-raios com uma ordem de incerteza de $1,2 \times 10^{-7}$ s entre uma imagem e outra. Para registro da variação do campo elétrico foi utilizado o *datalogger* ALDIS (Austrian Lightning Detection & Information System) que permite registro em uma taxa de $1,5 \times 10^6$ Hz e. Durante o período da campanha de aquisição mencionado foram registrados 1 LAC e 1 LANC, logo, pode-se ressaltar a dificuldade de aquisição dos dados deste. Para finalização deste projeto de Iniciação Científica é necessário conhecer melhor os equipamentos utilizados, incertezas das medidas e fortalecer a base teórica dos princípios físicos de maneira a atingir os objetivos principais, bem como conhecer novas ferramentas para análise dos dados e softwares com intuito de melhorar a qualidade da pesquisa.

Lista de ilustrações

figura 1 : figura.1: Sensor de campo elétrico (Antena_shulz)	2
figura 2 : PCC Version v2.8.761.0 - Phantom	2
figura 3: À esquerda P1 e à direita P2, ambos localizados no condomínio Vila Flórida.	3
figura 4: À esquerda P1 e P2, à direita local de instalação da câmera.	3
figura 5: Exemplo de gráfico gerado pelo software Data Viewer	4
figura 6: Gráfico gerado a partir dos dados .txt.	5
figura 7: Exemplo de registro de imagem da câmera Phantom	5
figura 8: Campo elétrico (EFast) em P2 atinge valores de aproximadamente 5.0×10^3 (V/m)	6
figura 9: Corrente elétrica em P2 (azul) atinge valores de aproximadamente 5.0×10^4 A, e em P1 (rosa) valores de 104 A	6
figura 10: Campo IAG-USP. Em rosa ganho maior e em azul, menor.	6
figura 11: conexão em 689300 microssegundo	6
figura 12: Pico de corrente (azul) em (~ 689 206 32 segundos) e queda de campo elétrico (rosa) no mesmo instante	7
figura 12: Pico de corrente (azul) em (~ 689 206 32 segundos) e queda de campo elétrico (rosa) no mesmo instante	7
figura 13: Pico de corrente (azul) em (~ 689 206 32 segundos) e queda de campo elétrico (rosa) no mesmo instante.	7
figura 14 -instante - 68896821	7

figura 15 -instante - 168899467	7
figura 16 -instante - 68904758	7
figura 17 -instante - 68925922	7
figura 18.1: instante de conexão da descarga ao para-raio	8
figura 18.2: instante de conexão da descarga ao para-raio	8
figura 18.3: instante de conexão da descarga ao para-raio	8
figura 19: Campo IAG-USP. Em rosa ganho maior e em azul, menor	9
figura 20.1 - tentativa de conexão.	9
figura 20.2 - tentativa de conexão.	9
figura 20.3 - tentativa de conexão	9
figura 20.4 - tentativa de conexão.	
Neste caso, apresenta-se um LANC.	9

Lista de Símbolos e Abreviaturas

LANC - Líder ascendente não conectivo

LAC - Líder ascendente conectivo

IAG-USP - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP

P1 - Prédio localizado no condomínio Vila Flórida (Lado esquerdo nas imagens)

P2 - localizado no condomínio Vila Flórida (Lado direito nas imagens)

Sumário

Lista de ilustrações	4
Lista de Símbolos e Abreviaturas	6
1.INTRODUÇÃO	1
2.OBJETIVOS	1
3.METODOLOGIA.....	2
Etapa 1: Conhecimento e descrição dos equipamentos:	2
Etapa 2: Atividades em campo para instalação dos equipamentos	2
Etapa 3: Aquisição dos dados	3
Etapa 4: Controle de qualidade dos dados.....	4
Etapa 5: Estudos do comportamento das descargas elétricas	5
4.RESULTADOS.....	5
Etapa_reultados1	6
Etapa_reultados2.....	9
5.DISSCUSSÃO FINAL.....	10
6.ANEXOS	11
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11

1.INTRODUÇÃO

Incidentes causados por raios são responsáveis por muitas mortes no Território Nacional. O número médio de fatalidades anuais decorrentes de raios é de 0,8 por milhão de habitantes (CARDOSO et al., 2014), sendo que a maioria das mortes (cerca de 19%) são decorrentes de atividades rurais. Somente na Região Metropolitana da cidade de São Paulo (RMSP) são registrados cerca de 7 a 10 raios por quilometro quadrado por ano (NACCARATO; ALBRECHT; PINTO, 2011a).

Em sua maioria, mais de 90% do total anual desses raios são de polaridade negativa (-CG - a nuvem cede elétrons ao solo), enquanto que o restante é de polaridade positiva (+CG - o solo cede elétrons à atmosfera (MacGorman e Rust, 1998; Williams 2001; Lang e Rutledge, 2004; Wiens et al., 2005).

Atualmente, o principal mecanismo aceito para formação destes raios é de inúmeras colisões entre pequenos cristais e partículas de gelo mais densas (como graupel e granizo) na presença de água líquida superesfriada, denominado de carregamento não-indutivo (e.g., SAUNDERS et al., 2006; TAKAHASHI, 1978).

Com isso, estudar as características desses raios com auxílio de alta tecnologia é essencial, não só para o âmbito social, mas também para desenvolvimento da pesquisa científica no país.

2.OBJETIVOS

E estudar diferentes processos físicos dos relâmpagos, bem como as etapas de descargas elétricas e suas características, por meio de imagens de vídeos e sensores de campo elétrico e corrente.

3.METODOLOGIA

O projeto consiste em cinco etapas, na qual contempla atividades em campo para instalação dos equipamentos, aquisição de dados, controle de qualidade dos dados, comparação de imagens com gráficos de campo e corrente elétrica.

Etapa 1: Conhecimento e descrição dos equipamentos: Sensores de campo elétrico (figura 1 - antena_shulz) e um datalogger ALDIS (*Austrian Lightning Detection & Information System*) com capacidade de aquisição da ordem de $1,6 \times 10^6$ Hz, bem como TCs (corrente elétrica) e câmera (figura 2 - *PCC Version v2.8.761.0 - Phantom* com capacidade de registro da ordem de 40 mil frames/segundo e incerteza de $\pm 12 \mu s$ entre as imagens.



figura.1: Sensor de campo elétrico
(Antena_shulz)



figura 2 : PCC Version v2.8.761.0 -
Phantom -. A incerteza apresentada na
filmagem é foi de $\pm 12 \mu s$.

Etapa 2: Atividades em campo para instalação dos equipamentos

- Os sensores descritos anteriormente foram instalados, durante os meses de outubro e dezembro de 2016, no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG-USP) na cidade de São Paulo/SP, em Pirituba/SP e São José dos Campos/SP. Os instalados em Pirituba/SP

foram afixados em dois prédios denominados P1 e P2 (figura 3), pertencentes ao Condomínio, estes que são alvo principal da pesquisa.



figura 3: À esquerda P1 e à direita P2, ambos localizados no condomínio Vila Flórida.

Também em Pirituba, a aproximadamente 200m, localizam-se as câmeras *Phantom* para registro das imagens (figura 4). O ponto ao lado direito estão localizadas as câmeras, ao esquerdo, os prédios P1 e P2.



figura 4: À esquerda P1 e P2, à direita local de instalação da câmera.

Etapa 3: Aquisição dos dados - Os sensores de campo elétrico operam continuamente, registrando as alterações no campo elétrico produzidas pelas descargas, possuem também uma antena tipo GPS para sincronizar o

tempo com precisão de microssegundos. Os dados registrados pelo *datalogger*, tanto de corrente, quanto de campo, podem ser observados (figura 5), por meio de software *data viewer*.

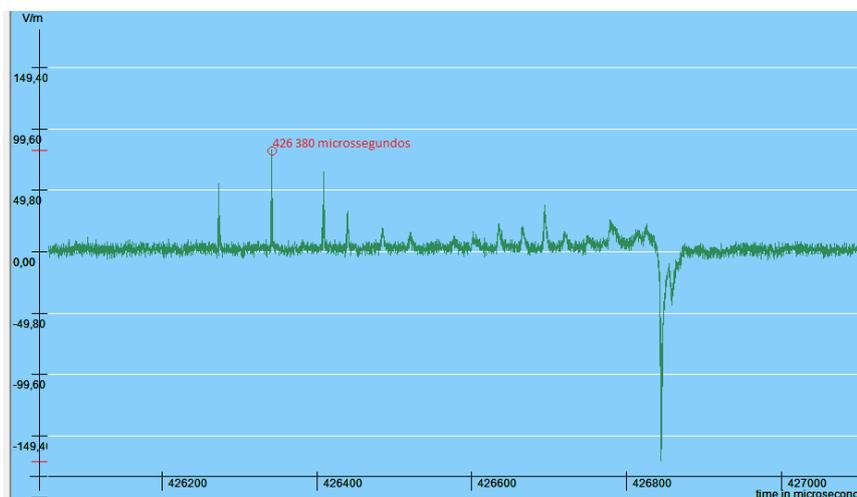


figura 5: Exemplo de gráfico gerado pelo software Data Viewer

Os registros de imagens é realizado pela câmera de alta velocidade Phantom, que captura, disparada por um observador, imagens da ordem de milhares de frames/segundo. Após o *trigger*, a câmera registra as imagens de 1 segundo antes do trigger e 1 segundo após, gerando dados de aproximadamente 15GB, este que também possuem registro de horário da ordem de precisão de microssegundos.

Etapa 4: Controle de qualidade dos dados - Devido a enorme quantidade de dados, há necessidade do controle de qualidade destes dados pois, em inúmeros casos, os dados podem estar corrompidos e/ou sem informação útil. No caso dos sensores de campo elétrico e corrente, há uma opção do software *Data Viewer* que possibilita o usuário ter acesso as informações em .txt. com isso, pode-se gerar um gráfico (figura 6) para observar o comportamento desses dados. No caso das imagens de vídeo (figura 7), é necessário acompanhamento total do registro e, posteriormente, editá-lo.

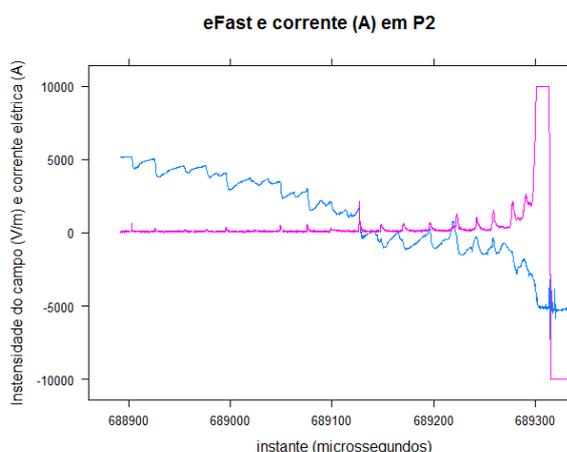


figura 6: Gráfico gerado a partir dos dados .txt. No caso, foi utilizado o software R Stúdio para elaboração dos gráficos no decorrer do trabalho.



figura 7: Exemplo de registro de imagem da câmera Phantom

Além de sensores de corrente, nestes prédios há também instrumentos de medição, raio-x, estação meteorológica e painéis solares.

Etapa 5: Estudos do comportamento das descargas elétricas, LANCs (líderes ascendente não conectivo) LACs (Líderes ascendentes conectivos) por meio dos dados de sensores de campo e corrente, e imagens de vídeo - Para fins deste projeto, os dados registrados de campo elétrico e corrente são comparados com as imagens de vídeo para observação das diferentes características dos processos dos raios. O estudo em si utiliza dados aquisitados no verão de 2016/2017, mais precisamente no dia 01 de fevereiro de 2017 com início às 20:01:10.674 656.05 segundos e dia 03 de fevereiro de 2017 com início às 23:47:09.393 227.47 segundos.

4.RESULTADOS

Neste projeto de pesquisa, realizado entre os meses de outubro e março de 2017, foi possível registrar dois eventos: um deles é um líder ascendente conectivo e outro é um líder ascendente não conectivo. Com isso, para fins de melhor entendimento dos resultados obtidos, estes serão mostrados em duas

etapas (etapa_result1 e etapa_reult2), sendo a primeira delas os resultados do dia 01 de fevereiro de 2017, na qual foi capturado um LAC e, posteriormente, resultados do dia 03 de fevereiro de 2017, onde houve registros de LANCs

Etapa_reultados1: 01 de fevereiro de 2017 (LAC) - Como pode-se observar nas imagens abaixo (figuras 8,9), os valores de campo elétrico (*EFast*) em P2 atinge valores de aproximadamente 5.0×10^3 (V/m), e, de corrente, 5.0×10^4 A. Porém, devido à proximidade do evento, não é possível apresentar todos os dados. Com isso, são utilizados os campos de ganho maior e ganho menor, instalados no IAG-USP, para observar os instantes com maior detalhamento (figura 10) Observa-se um *delay* entre o tempo de registro do *EFast* em P2 e USP.

Na figura 11 observa-se que aproximadamente no instante 689 300 microssegundos há saturação devido à conexão do líder ascendente com o descendente.

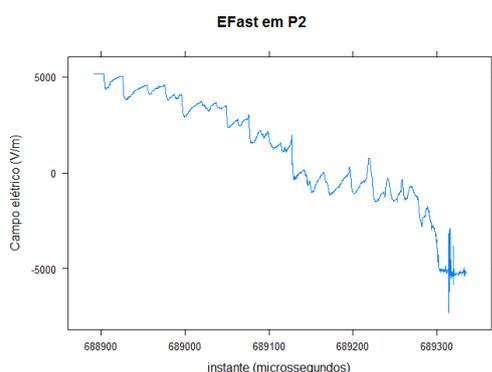


figura 8: Campo elétrico (*Efast*) em P2 atinge valores de aproximadamente 5.0×10^3 (V/m)

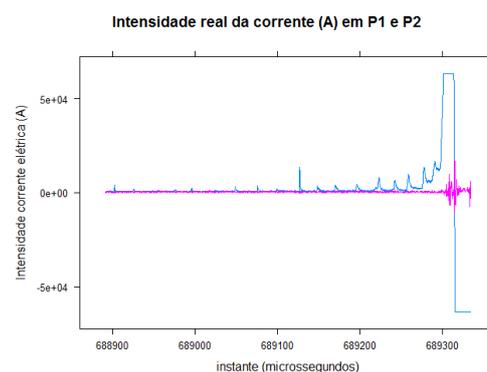


figura 9: Corrente elétrica em P2 (azul) atinge valores de aproximadamente 5.0×10^4 A, e em P1 (rosa) valores de 10^4 A.

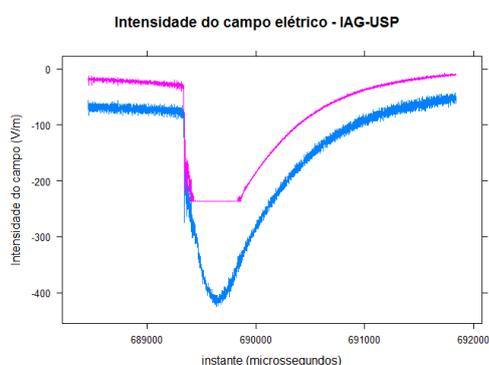


figura 10: Campo IAG-USP. Em rosa ganho maior, em azul, menor.

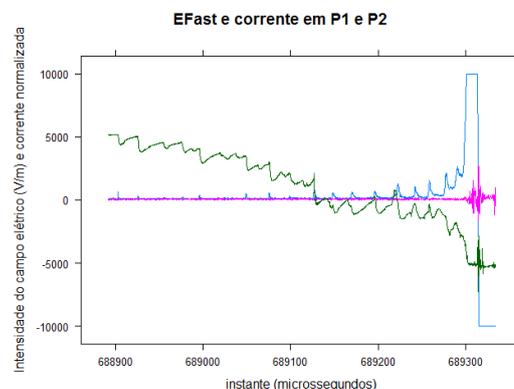


figura 11: conexão em 689300 microssegundos

Comparando os gráficos de campo elétrico e corrente com as imagens de vídeo, observa-se que, nos instantes em que há presença do LANC, o campo elétrico é "derrubado" em função do deslocamento de cargas. Na figura 12 há um pico de corrente em ($\sim 689\,206\,32$ segundos), e queda do campo elétrico no mesmo instante. Pode-se observar estes dados através do registro de vídeo no instante $689\,206\,32$ segundos (figura 13)

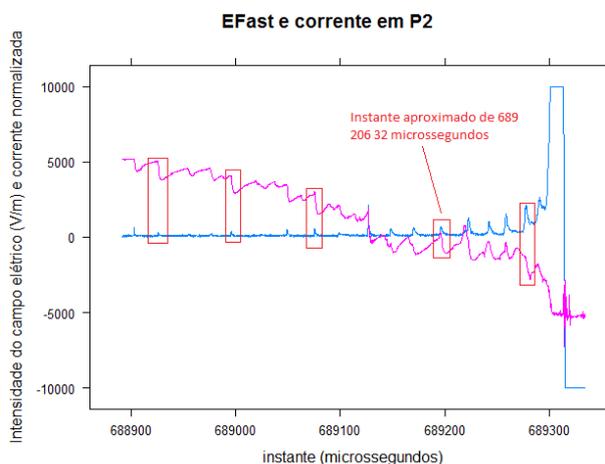


figura 12: Pico de corrente (azul) em ($\sim 689\,206\,32$ segundos) e queda de campo elétrico (rosa) no mesmo instante.



figura 13: Pico de corrente (azul) em ($\sim 689\,206\,32$ segundos) e queda de campo elétrico (rosa) no mesmo instante.

O mesmo ocorre em instantes seguintes. Pela figura anterior (figura 12), os retângulos em vermelho apresentam os instantes de pico de corrente e queda de campo elétrico. Abaixo, (figuras 14,15,16 e 17) é apresentado os mesmos instantes por meio da captura de vídeo.



Figura 14 -instante - 68896821



Figura 15 -instante - 168899467



Figura 16 -instante - 68904758



Figura 17 -instante - 68925922

Neste caso, a descarga elétrica conecta no prédio, porém não há registro de campo e corrente, devido à saturação. Para isto, há necessidade de observar o campo IAG-USP.

Nas figuras 18.1, 18.2 e 18.3 abaixo, observa-se que no instante aproximadamente 689 312 02 microssegundos, há conexão com o para-raio. Neste caso, o dia 01 de fevereiro, como anteriormente mencionado, houve registro de um LAC.



figura 18.1: instante de conexão da descarga ao para-raio



figura 18.2: instante de conexão da descarga ao para-raio



figura 18.3: instante de conexão da descarga ao para-raio

Para uma melhor visualização dos dados e imagens há necessidade da tabela (Tabela 01) abaixo. No caso, os números desta são referentes aos máximos registrados de campo elétrico e corrente dos dados apresentados até o momento.

Tabela 01 - Compilação dos dados até agora apresentados

	EFAST	Corrente P1	Corrente P2	Campo USP - Ganho Maior	Campo USP - Ganho Menor
Máximo (absoluto)	5000 V/m	10000 A	50000 A	200 V/m	400 V/m
Instante de conexão(segundos)	20:01:10.689 312.13				

Sendo assim, resta observar os dados do dia 03 de fevereiro de 2017, estes que serão discutidos a seguir.

Etapa_reultados2: 03 de fevereiro de 2017 (LANC) - Devido a imprevistos da aquisição dos dados, não há registros de *EFast*, e corrente elétrica em P1 e P2, porém, há registro de campo elétrico nos sensores instalados no IAG-USP (figura 19), e também de imagens de vídeo.

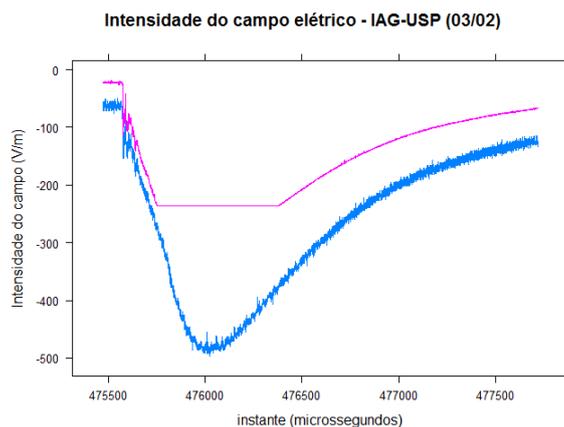


Figura 19: Campo IAG-USP. Em rosa ganho maior e em azul, menor

Neste caso, o líder ascendente não se conecta no prédio, logo, temos um LANC. Abaixo, a sequência de imagens (figura 20.1, 20.2, 20.3 e 20.4) mostra que há tentativa de conexão, nos prédios, mas sem sucesso. Observa-se um *delay* entre o tempo de registro do EFast em P2 e USP de dados.



figura 20.1 - tentativa de conexão.



figura 20.2 - tentativa de conexão.



figura 20.3 - tentativa de conexão.



figura 20.4 - tentativa de conexão. Neste caso, apresenta-se um LANC.

No caso acima, os sensores instalados no IAG-USP registraram um campo de aproximadamente -500 (V/m). Em comparação com o campo registrado em P1 e P2 no dia 01 de fevereiro (LAC), apresenta uma intensidade de 100 (V/m) maior.

5.DIUSSÃO FINAL

A partir dos dados e imagens apresentados acima pode-se discutir, primeiramente a dificuldade e importância da aquisição dos dados nesta pesquisa, como por exemplo, não é possível a comparação dos dados do dia 01 e 03 de fevereiro visto a escassez de dados referentes ao dia 03. Porém, por meio das imagens de vídeo pode-se concluir que, mesmo não havendo conexão, há presença de LANCs, logo, o para-raio não fica "esperando" o raio cair, mas sim, sempre há "busca".

Analisando as imagens de vídeo, dados de campo e corrente, é possível discutir sobre ordem de grandezas associadas às quedas. Em primeiro registro temos que, no dia 01 de fevereiro, a intensidade de corrente e campo alcançaram ordem de 50×10^4 A e 5×10^3 V/m, respectivamente.

Além disso, é válido ressaltar que a presença de picos de corrente de aproximadamente 200A "derruba" o campo elétrico devido ao transporte de carga na tentativa de conexão. É interessante ressaltar o risco que esta corrente de 200A pode oferecer para estrutura local. Talvez um estudo da estrutura do SPDA do local antes e posterior ao LANC seja interessante.

Sendo assim, é válido afirmar a importância dessa pesquisa e estudos das características das descargas atmosféricas visto que, mesmo sem haver a conexão, a estrutura de aterramento pode sofrer danos, estes que importantes devido à proteção de riscos eminentes à vida.

6.ANEXOS

Anexo o Programa em R para elaboração dos gráficos

```
require(lattice)

eFast<-read.table("C:/Users/Stenico/Desktop/eFast.txt")
vinte_db_pum<-read.table("C:/Users/Stenico/Desktop/vinte_db_pum.txt")
cinq_db_pdois<-read.table("C:/Users/Stenico/Desktop/cinq_db_pdois.txt")
cinq_db_pum<-read.table("C:/Users/Stenico/Desktop/cinq_db_pum.txt")

menor<-read.table("C:/Users/Stenico/Desktop/ganhomenor.txt")
maior<-read.table("C:/Users/Stenico/Desktop/ganhomaior.txt")

eFastdiatres<-read.table("C:/Users/Stenico/Desktop/efastdiatres.txt")
menordiatre<-read.table("C:/Users/Stenico/Desktop/ganhomenordiatres.txt")
majordiatres<-read.table("C:/Users/Stenico/Desktop/ganhomaiordiatres.txt")

a<-eFast$V2
b<-as.numeric(vinte_db_pum$V2)
c<-as.numeric(cinq_db_pdois$V2)
d<-as.numeric(cinq_db_pum$V2)
e<-as.numeric(menor$V2)
f<-as.numeric(maior$V2)
g<-as.numeric(menordiatre$V2)
h<-as.numeric(majordiatres$V2)
i<-as.numeric(eFastdiatres$V2)

tempo<-as.numeric(eFast$V1)
tempo2<-as.numeric(menor$V1)
tempo3<-as.numeric(menordiatre$V1)

xyplot((a~tempo), type="l",
        main="EFast em P2",
        xlab="instante (microsegundos)",
        ylab="campo elétrico (V/m)")
```

7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- I) CARDOSO, I. et al. Lightning casualty demographics in Brazil and their implications for safety rules. *Atmospheric Research*, v. 135-136, p. 374–379, jan. 2014.
- II) NACCARATO, K. P.; ALBRECHT, R. I.; PINTO, O. Cloud-to-ground lightning density over Brazil based on high-resolution lightning imaging sensor (LIS) data 14th International Conference on Atmospheric Electricity. *Anais...Rio de Janeiro, Brazil: 2011a*
- III) TAKAHASHI, T. Riming electrification as a charge generation mechanism in thunderstorms. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1978
- IV) SAUNDERS, C. P. R. et al. Laboratory studies of the effect of cloud conditions on graupel/crystal charge transfer in thunderstorm electrification. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 132, n. 621, p. 2653–2673, out. 2006.

V) MacGorman e Rust, 1998; Williams 2001; Lang e Rutledge, 2004; Wiens et al., 2005